

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
Физики твердого тела и наноструктур
—  (П.В. Середин)
31.08.2024г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
Б1.В.ДВ.01.02 Практикум по физике полупроводников
Код и наименование дисциплины в соответствии с учебным планом

1. Шифр и наименование направления подготовки / специальности:
11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»
2. Профиль подготовки / специализация/магистерская программа:
"Интегральная электроника и наноэлектроника"
3. Квалификация (степень) выпускника: бакалавр
4. Форма обучения: Очная
5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины: кафедра физики твердого тела и наноструктур
6. Составители программы: Нестеров Дмитрий Николаевич, к.ф.-м.н., доцент
7. Рекомендована: НМС физического факультета протокол №6 от 26.06.2024
8. Учебный год: 2026/27 Семестр(ы): 6
9. Цели и задачи учебной дисциплины

Целями освоения учебной дисциплины являются: формирование у обучающихся знаний о физических принципах, лежащих в основе работы полупроводниковых приборов и об области их применения; овладение адекватными способами решения теоретических и экспериментальных задач по измерению, расчету и проектированию различных полупроводниковых приборов.

Задачи учебной дисциплины:

- познакомить обучающихся с основными типами полупроводниковых приборов, их конструкциями, назначением;
- рассмотреть основные физические принципы и явления, лежащие в основе работы полупроводниковых приборов;
- рассмотреть технологические особенности изготовления различных полупроводниковых приборов;
- установить области применения различных полупроводниковых приборов;
- способствовать ориентации студентов на мировой уровень развития науки.

10. Место учебной дисциплины в структуре ООП: При изучении курса подводятся итоги изучения дисциплин специальности и специализации в области твердотельной электроники; приоритет отдается методам и их применению к конкретным задачам физики твердого тела, твердотельной электроники, нанотехнологий.

11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями) и индикаторами их достижения:

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ПК-3	Способен выполнять работы по технологической подготовке производства материалов и изделий	ПК-3.1	Выбирает конструкционные материалы и определяет типоразмеры заготовок для изделий	Знать: конструкционные материалы и способы определения типоразмеров заготовок для изделий
				Уметь: выбирать конструкционные материалы и определять типоразмеры заготовок для изделий
				Владеть: выбором конструкционных материалов и определением типоразмеров заготовок для изделий
ПК-7	Способен проводить технологические процессы производства материалов и изделий электронной техники	ПК-7.1	Выбирает необходимые параметры технологических процессов производства изделий микроэлектроники	Знать: необходимые параметры технологических процессов производства изделий микроэлектроники
				Уметь: выбирать необходимые параметры технологических процессов производства изделий микроэлектроники
				Владеть: навыками подбора необходимых параметров технологических

				процессов производства изделий микроэлектроники
--	--	--	--	---

12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час. (в соответствии с учебным планом) — 4/144.

Форма промежуточной аттестации (зачет/экзамен) зачет

13. Трудоемкость по видам учебной работы

Вид учебной работы		Трудоемкость		
		Всего	По семестрам	
			№ семестра 6	№ семестра
Аудиторные занятия				
в том числе:	лекции			
	практические			
	лабораторные	50	50	
Самостоятельная работа		94	94	
в том числе: курсовая работа (проект)				
Форма промежуточной аттестации (зачет – 6 час.)				
Итого:		144	144	

13.1. Содержание дисциплины

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК *
1. Лабораторные занятия			
1	Лабораторная работа «Определение концентрации растворенного кислорода в кремнии по спектру ИК отражения»	Изучение устройства ИК Фурье спектрометра Vetrex-70 и приставки на отражение. Измерение спектров отражения пластин монокристаллического кремния с различным содержанием кислорода. Конвертация спектров в программу OMNISC и нахождение интегральной интенсивности. Расчет концентрации кислорода в исследуемом образце.	
2	Лабораторная работа «Определение концентрации, подвижности, эффективной массы носителей заряда в полупроводниковых материалах по спектральной зависимости коэффициента отражения в области плазменного резонанса»	Изучение устройства ИК Фурье спектрометра Vetrex-70 и приставки на отражение. Измерение спектров отражения пластин монокристаллического кремния с высокой электропроводностью. Конвертация спектров в программу EXCEL, построение степенных зависимостей, проведение графического анализа и определение электрофизических параметров.	
3	Лабораторная работа «Определение толщины эпитаксиальных слоев по интерференции ИК-излучения».	Изучение устройства ИК Фурье спектрометра Vetrex-70 и приставки на отражение. Измерение спектров отражения пластин монокристаллического кремния с различным содержанием кислорода. Конвертация спектров в программу OMNISC и нахождение интегральной интенсивности. Расчет	

		концентрации кислорода в исследуемом образце.	
4	Лабораторная работа «Определение параметров оптических фононов арсенида галлия, методом моделирования спектра фононного резонанса».	Изучение устройства ИК Фурье спектрометра Vetrex-70 и приставки на отражение. Измерение спектров отражения пластин арсенида галлия в дальней ИК области. Конвертация спектров в программу OMNIC и определение значений LO и TO фононов. Проведение моделирования спектра фононного резонанса с использованием теории Борна - Куня.	
5	Лабораторная работа «Определение толщины и спектральной зависимости показателя преломления тонких слоев оксида алюминия на непрозрачной подложке по спектрам зеркального отражения».	Измерение спектра зеркального отражения пленки оксида алюминия на приборе LAMBDA-650 при двух углах падения. Расчет значений показателя преломления в точках экстремумов спектров отражения в программе EXCEL . Построение зависимости $n(\lambda)$. Расчет толщины пленки.	
6	Лабораторная работа «Моделирование спектра излучательной рекомбинации арсенида галлия по спектру поглощения»	Измерение спектров пропускания и отражения на приборе СФ56А с приставкой на отражение ПЗО-9. Обработка спектров в программе EXCEL. Построение спектральных зависимостей коэффициента поглощения и степенных зависимостей. Моделирование спектра люминесценции арсенида галлия в соответствии с теорией Ван-Русбрека-Шокли. Определение положения максимума спектра излучения	
7	Лабораторная работа «Измерение температурной зависимости электропроводности германия»	Измерение температурной зависимости электропроводности германиевого образца. Построение зависимости $\ln(\sigma)$ от $1/T$. Расчет значений ширины запрещенной зоны и энергии активации примеси.	

13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (количество часов)				
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
1	Лабораторная работа «Определение концентрации растворенного кислорода в кремнии по спектру ИК отражения»			7	13	10
2	Лабораторная работа «Определение концентрации, подвижности, эффективной массы носителей заряда в полупроводниковых материалах по спектральной зависимости коэффициента отражения в области плазменного резонанса»			7	13	10
3	Лабораторная работа «Определение толщины эпитаксиальных слоев по интерференции ИК-излучения».			7	13	10
4	Лабораторная работа			7	13	10

	«Определение параметров оптических фононов арсенида галлия, методом моделирования спектра фононного резонанса».					
5	Лабораторная работа «Определение толщины и спектральной зависимости показателя преломления тонких слоев оксида алюминия на непрозрачной подложке по спектрам зеркального отражения».			7	13	10
6	Лабораторная работа «Моделирование спектра излучательной рекомбинации арсенида галлия по спектру поглощения»			7	13	10
7	Лабораторная работа «Измерение температурной зависимости электропроводности германия»			8	16	12
	Итого:			50	94	144

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Изучение дисциплины «Практикум по полупроводниковым приборам» предусматривает осуществление учебной деятельности состоящей из двух частей: обучения студентов преподавателем и самостоятельной учебной деятельности студентов по изучению дисциплины.

Дисциплина «Практикум по полупроводниковым приборам» реализуется с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий.

В учебном процессе используются следующие образовательные технологии. По образовательным формам: лабораторные занятия; индивидуальные занятия. По преобладающим методам и приемам обучения: объяснительно-иллюстративные (объяснение, показ–демонстрация учебного материала и др.); активные (анализ учебной и научной литературы, составление схем и др.) и интерактивные, в том числе и групповые (взаимное обучение в форме подготовки и обсуждения докладов); информационные; компьютерные; мультимедийные (работа с сайтами академических структур, научно-исследовательских организаций, электронных библиотек и др., разработка презентаций, сообщений и докладов, работа с электронными обучающими программами и т.п.).

Приступая к изучению нового материала, необходимо сосредоточиться, т.е. сконцентрировать внимание и не отвлекаться от выполняемой работы, помня, что желание запомнить является гарантией успешной работы, отсутствие же воли к запоминанию снижает эффект восприятия.

Изучение теоретического материала в данном курсе не ограничивается подготовкой к лекциям и работой на данном виде занятий. Лекционная часть курса органически взаимосвязана с иными видами работ: написанием рефератов, участием в лабораторных занятиях, подготовкой и сдачей экзамена по дисциплине, в структуре которых также большое значение имеет самостоятельная работа студента.

Самостоятельная работа обучающихся наряду с аудиторной представляет одну из форм учебного процесса и является существенной ее частью, что наиболее ярко представлено в процессе подготовки бакалавров. Последнее обусловлено тем, что

самостоятельная работа предназначена для формирования навыков самостоятельной работы как вообще, так и в учебной, научной деятельности, формирование и развитие способности принимать на себя ответственность, самостоятельно решать проблему, находить конструктивные решения, выход из кризисной ситуации и т.д.

Самостоятельная работа формирует самостоятельность не только как совокупность умений и навыков, но и как черту характера, играющую существенную роль в структуре личности современного специалиста высшей квалификации. Она воспитывает самостоятельность как черту характера. Никакие знания, полученные на уровне пассивного восприятия, не ставшие объектом собственной умственной или практической работы, не могут считаться подлинным достоянием человека.

Давая возможность расширять и обогащать знания, умения по индивидуальным направлениям, самостоятельная работа обучающегося позволяет создать разносторонних специалистов. В процессе самостоятельной работы развивают творческие возможности обучающегося, при этом самостоятельная работа завершает задачи всех видов учебной работы.

Самостоятельная работа - это планируемая работа обучающихся, выполняемая по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия. Преподаватель, ведущий занятия, организует, направляет самостоятельную работу обучающихся и оказывает им необходимую помощь. Однако самостоятельность обучающихся должна превышать объем работы, контролируемой преподавателем работы, и иметь в своей основе индивидуальную мотивацию обучающегося по получению знаний, необходимых и достаточных для будущей профессиональной деятельности в избранной сфере. Преподаватель при необходимости может оказывать содействие в выработке и коррекции данной мотивации, лежащей в основе построения самостоятельной деятельности обучающегося по изучению дисциплины, получению необходимых знаний и навыков.

Получение образования предполагает обучение решению задач определенной сферы деятельности. Однако как бы хорошо не обучались обучающиеся способам решения задач в аудитории, сформировать средства практической деятельности не удастся, так как каждый случай практики особый и для его решения следует выработать особый профессиональный стиль мышления.

Основой самостоятельной работы служит научно-теоретический курс, комплекс полученных обучающимся знаний. Основной, наиболее экономичной формой получения и усвоения информации, теоретических знаний в вузе является лекция, позволяющая воспринять значительную сумму основных знаний и потому способствующая повышению продуктивности всех других форм учебного труда.

Результат обучения и самостоятельной работы обучающегося предполагает наличие следующих составляющих:

- понимание методологических основ построения изучаемых знаний;
- выделение главных структур учебного курса;
- формирование средств выражения в данной области;
- построение методик решения задач и ориентации в проблемах (ситуациях).

Самостоятельная работа обучающихся при изучении «Практикум по полупроводниковым приборам» включает в себя: подготовку и участие в изучении теоретической части курса, выполнение лабораторных работ, подготовку к экзамену.

Самостоятельная работа студента при изучении дисциплины «Практикум по полупроводниковым приборам» включает в себя:

изучение теоретической части курса	– 40 часов
подготовку к лабораторным занятиям	– 40 часов
написание отчетов по лабораторным работам	– 14 часов
итога	– 94 часа

15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины (список литературы оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ и используется общая сквозная нумерация для всех видов источников)

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Шалимова, Клавдия Васильевна. Физика полупроводников : учебник / К.В. Шалимова .— Изд. 4-е, стер. — СПб. [и др.] : Лань, 2010 .— 390, [1] с. : ил. — (Учебники для вузов. Специальная литература) .— Предм. указ.: с.383-387. Свободный доступ http://elibrary.sgu.ru/uch_lit/565.pdf
2	Гуртов, Валерий Алексеевич. Твердотельная электроника : учебное пособие для студ. вузов, обуч. по направлению подготовки бакалавров, магистров 010700 "Физика" и специальности 010701 "Физика" / В. Гуртов .— 2-е изд., доп. — М. : Техносфера, 2007 .— 406 с. : ил. — (Мир электроники) .— Библиогр.: с.401-404 .— Предм. указ. : с.405-406.
3	Зи С. Физика полупроводниковых приборов : в 2 кн. / С. Зи ; пер. с англ. под ред. Р.А. Сурица .— М. : Мир, 1984-. [Кн.] 1 / пер. с англ. В.А. Гергеля и В.В. Ракитина .— 1984 .— 455 с. : ил.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
1	Физика полупроводниковых приборов микроэлектроники : учебное пособие для студ. вузов, обуч. по направлению подгот. 210100 "Электроника и микроэлектроника" / В.И. Старосельский .— М. : Юрайт, 2011 .— 463 с. : ил. — (Основы наук) .— Библиогр. в конце глав .— ISBN 978-5-9916-0808-4 : 2500 .— ISBN 978-5-9692-0962-6 : 2500.
2	Суворов, Э. В. Материаловедение: методы исследования структуры и состава материалов : учебное пособие для академического бакалавриата / Э. В. Суворов. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2018. — 180 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-06011-9. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: https://urait.ru/bcode/410906 (дата обращения: 10.09.2020).

в) информационные электронно-образовательные ресурсы (официальные ресурсы интернет)*:

№ п/п	Ресурс
1.	www.lib.vsu.ru - ЗНБ ВГУ
2.	Ф и з и к а , х и м и я , м а т е м а т и к а студентам и школьникам Образовательный проект А.Н. Варгина Свободный доступ для скачивания Раздел Полупроводники http://www.ph4s.ru/book_ph_poluprovodnik.html
3.	https://edu.vsu.ru – Образовательный портал "Электронный университет ВГУ"

16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы (учебно-методические рекомендации, пособия, задачки, методические указания по выполнению практических (контрольных), курсовых работ и др.)

№ п/п	Источник
1	http://vivovoco.rsl.ru/VV/JOURNAL/NATURE/06_01/LIGHT.HTM
2	http://journals.ioffe.ru/ftt

17. Образовательные технологии, используемые при реализации учебной дисциплины, включая дистанционные образовательные технологии (ДОТ), электронное обучение (ЭО), смешанное обучение):

При реализации дисциплины используются активные и интерактивные методы и технологии профессионального обучения. <https://edu.vsu.ru> – Образовательный портал "Электронный университет ВГУ"

18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

1. Учебно-лабораторные стенды :

- а. «Эффект Холла»
- б. «Термо-ЭДС»
- в. «Электропроводность полупроводников»
- г. «Свойства р-п перехода»
- д. «Терморезистор»
- е. «Фотодиод»
- ж. «Туннельный диод»
- з. «Фоторезистор»
- и. «Спектрофотометр СФ-56А»
- к. «ИК-Фурье спектрометр Vertex-70»
- л. «Спектрофотометр LAMBDA_650»

Реализация дисциплины с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий осуществляется через образовательный портал "Электронный университет ВГУ".

19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций

Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием следующих разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
1.	Лабораторная работа «Определение концентрации растворенного кислорода в кремнии по спектру ИК отражения»	ПК-3 ПК-7	ПК-3.1 ПК-7.1	Опрос Лабораторная работа
2.	Лабораторная работа «Определение концентрации, подвижности, эффективной массы носителей заряда в полупроводниковых материалах по спектральной зависимости коэффициента отражения в области плазмонного резонанса»	ПК-3 ПК-7	ПК-3.1 ПК-7.1	Опрос Лабораторная работа
3.	Лабораторная работа «Определение толщины»	ПК-3 ПК-7	ПК-3.1 ПК-7.1	Опрос Лабораторная работа

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
	эпитаксиальных слоев по интерференции ИК-излучения».			
4	Лабораторная работа «Определение параметров оптических фононов арсенида галлия, методом моделирования спектра фононного резонанса».	ПК-3 ПК-7	ПК-3.1 ПК-7.1	Опрос Лабораторная работа
5	Лабораторная работа «Определение толщины и спектральной зависимости показателя преломления тонких слоев оксида алюминия на непрозрачной подложке по спектрам зеркального отражения».	ПК-3 ПК-7	ПК-3.1 ПК-7.1	Опрос Лабораторная работа
6	Лабораторная работа «Моделирование спектра излучательной рекомбинации арсенида галлия по спектру поглощения»	ПК-3 ПК-7	ПК-3.1 ПК-7.1	Опрос Лабораторная работа
7	Лабораторная работа «Измерение температурной зависимости электропроводности германия»	ПК-3 ПК-7	ПК-3.1 ПК-7.1	Опрос Лабораторная работа
Промежуточная аттестация форма контроля - зачет				Собеседование

20 Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

20.1 Текущий контроль успеваемости

Текущий контроль по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств: отчёт о выполнении лабораторных работ.

Перечень тем лабораторных работ:

1. Лабораторная работа 1 – Определение концентрации растворенного кислорода в кремнии по спектру ИК отражения.
2. Лабораторная работа 2 – Определение концентрации, подвижности, эффективной массы носителей заряда в полупроводниковых материалах по спектральной зависимости коэффициента отражения в области плазменного резонанса.

3. Лабораторная работа 3 – Определение толщины эпитаксиальных слоев по интерференции ИК-излучения.

4. Лабораторная работа 4 – Определение параметров оптических фононов арсенида галлия, методом моделирования спектра фононного резонанса.

5. Лабораторная работа 5 – Определение толщины и спектральной зависимости показателя преломления тонких слоев оксида алюминия на непрозрачной подложке по спектрам зеркального отражения.

6. Лабораторная работа 6 – Моделирование спектра излучательной рекомбинации арсенида галлия по спектру поглощения.

7. Лабораторная работа 7 – Измерение температурной зависимости электропроводности германия.

Для текущего контроля успеваемости используется устный опрос, отчеты о ходе выполнения лабораторных работ, на основе которых выставляется предварительная оценка *отлично/хорошо/удовлетворительно/неудовлетворительно*.

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности и компетенций	Шкала предварительных оценок
Обучающийся в полной мере владеет понятийным аппаратом данной области науки (теоретическими основами дисциплины), способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований, применять теоретические знания для выполнения тестов решения практических задач при выполнении лабораторных работ	Повышенный уровень	<i>Отлично</i>
Обучающийся владеет понятийным аппаратом данной области науки (теоретическими основами дисциплины), допускает незначительные ошибки при выполнении тестов и лабораторных задач	Базовый уровень	<i>Хорошо</i>
Обучающийся владеет частично теоретическими основами дисциплины, фрагментарно способен проходить тестирование и выполнять лабораторные задания	Пороговый уровень	<i>Удовлетворительно</i>
Неудовлетворительное выполнение тестовых заданий. Обучающийся демонстрирует отрывочные, фрагментарные знания, допускает грубые ошибки при выполнении практических задач лабораторных работ	–	<i>Неудовлетворительно</i>

Описание технологии проведения.

Текущая аттестация проводится в соответствии с Положением о текущей аттестации обучающихся по программам высшего образования Воронежского государственного университета – в форме контрольной работы. Критерии оценивания приведены выше.

Результаты текущей аттестации учитываются преподавателем при проведении промежуточной аттестации (зачета).

В условиях применения электронного обучения и дистанционных образовательных технологий все выполняемые задания текущей аттестации (лабораторные работы) обучающиеся вывешивают для проверки в личных кабинетах на портале «Электронный университет ВГУ» – [URL:https://edu.vsu.ru/](https://edu.vsu.ru/).

20.2 Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация по дисциплине (зачет) осуществляется с помощью следующих оценочных средств: теоретических вопросов. В контрольно-измерительный материал включаются два теоретических вопроса. Контрольно-измерительные материалы предназначены для тех обучающихся, которым нет возможности выставить зачет по результатам текущей аттестации в семестре (в связи с ее невыполнением / неудовлетворительным выполнением).

Перечень вопросов к зачёту

1. ИК-спектры отражения.
2. Подвижность и эффективная масса носителей заряда.
3. Прямозонные и непрямозонные полупроводники.
4. Плазмонный резонанс частиц.
5. Метод определения толщины эпитаксиальных слоев.
6. Метод моделирования спектра фононного резонанса.
7. Спектры зеркального отражения.
8. Излучательная, безызлучательная рекомбинация.
9. Спектры поглощения.
10. Температурная зависимость электропроводности полупроводников.

Описание технологии проведения

Промежуточная аттестация проводится в соответствии с Положением о промежуточной аттестации обучающихся по программам высшего образования.

В условиях применения электронного обучения и дистанционных образовательных технологий зачет проводится с использованием портала «Электронный университет ВГУ» – Moodle:URL:<http://www.edu.vsu.ru/> – по результатам текущей аттестации в семестре.

Требования к выполнению заданий (шкалы и критерии оценивания).

Для оценивания результатов обучения на зачёте используются следующие показатели:

1. Знание основных свойств полупроводниковых структур и возможности управления ими.
2. Навыки использования полупроводниковых устройств микроэлектроники.
3. Умение определять подходящие конструкционные материалы при технологической подготовке производства

Для оценивания результатов обучения на зачёте используется – «зачтено», «не зачтено»

Соотношение показателей, критериев и шкалы оценивания результатов обучения

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
Основной материал усвоен, в ответе прослеживается логическая последовательность между отдельными частями усвоенного материала, однако возможно наличие пробелов в отдельных разделах, неточности некоторых формулировок и определений.	Пороговый уровень	Зачтено
Во всех остальных случаях.	–	Незачтено

В рамках промежуточной аттестации также могут использоваться средства тестирования, составляющие фонд оценочных средств, приведенные в пункте **20.3** ниже, для оценки уровня сформированности компетенций обучающихся.

20.3 Фонд оценочных средств сформированности компетенций студентов, рекомендуемый для проведения диагностических работ:

ПК-3 Способен выполнять работы по технологической подготовке производства материалов и изделий.

ПК-3.1 Выбирает конструкционные материалы и определяет типоразмеры заготовок для изделий

Знать: конструкционные материалы и способы определения типоразмеры заготовок для изделий

Уметь: выбирать конструкционные материалы и определять типоразмеры заготовок для изделий

Владеть: выбором конструкционных материалов и определением типоразмеров заготовок для изделий

Перечень заданий для оценки сформированности компетенций

1. Закрытые задания (тестовые, средний уровень сложности).

1. Зонной структуре полупроводника соответствует вариант:

Валентная зона	Зона проводимости	Запрещенная зона	Запрещенная зона
Запрещенная зона	Запрещенная зона	Валентная зона	Зона проводимости
Зона проводимости	Валентная зона	Зона проводимости	Валентная зона
а)	б)	в)	г)

Правильный ответ: вариант б)

2. Чтобы получить полупроводник p -типа в кремний Si (IV группа) необходимо ввести примесь:

а) германий Ge (IV группа);

б) фосфор P (V группы);

в) бор B (III группа);

г) любую из вышеперечисленных.

Правильный ответ: вариант в)

3. Уровень Ферми в собственном полупроводнике лежит:

а) вблизи потолка валентной зоны;

б) вблизи середины запрещенной зоны;

в) в валентной зоне;

г) в зоне проводимости.

Правильный ответ: вариант б)

2. Открытые задания (тестовые, повышенный уровень сложности).

1. Удельное сопротивление собственного германия $\rho = 0,43 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ при $T = 300 \text{ К}$. Подвижности электронов и дырок в германии равны соответственно $\mu_n = 0,39 \text{ м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$ и $\mu_p = 0,19 \text{ м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$. Определите собственную концентрацию электронов (n) и дырок (p).

(Ответ: $2,5 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-3}$)

2. Образец германия легирован примесью атомов сурьмы так, что один атом примеси приходится на $N_{\text{Ge}} 2 \cdot 10^6$ атомов германия. Подвижности электронов и дырок в германии равны соответственно $\mu_n = 0,39 \text{ м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$ и $\mu_p = 0,19 \text{ м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$. Определить концентрацию электронов и дырок при $T = 300 \text{ К}$ (предположить, что при этой температуре все атомы сурьмы ионизированы и концентрация атомов германия $N = 4,4 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3}$).

(Ответ: $n_n = 2,2 \cdot 10^{22} \text{ м}^{-3}$, $p_n = 2,84 \cdot 10^{16} \text{ м}^{-3}$)

3. Открытые задания (мини-кейсы, средний уровень сложности)

1. В исследуемом полупроводнике по данным измерения эффекта Холла концентрация электронов составляла $1,3 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ при 400 К и $6,2 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ при 350 К . Найти ширину запрещенной зоны материала, считая, что она меняется с температурой по линейному закону.

(Ответ: $0,26 \text{ эВ}$)

2. Вычислить удельные сопротивления собственных германия и кремния при $T = 300 \text{ К}$. Для подвижностей электронов и дырок ($\mu_n = b\mu_p$) в германии и кремнии принять следующие значения: Ge: $\mu_n = 3,8 \cdot 10^3 \text{ см}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$, $b = 2,1$; Si: $\mu_n = 1,45 \cdot 10^3 \text{ см}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$, $b = 2,9$.

(Ответ: Ge $\rho = 50 \text{ Ом}\cdot\text{см}$; Si $\rho = 3,1 \cdot 10^5 \text{ Ом}\cdot\text{см}$)

ПК-7 Способен проводить технологические процессы производства материалов и изделий электронной техники.

ПК-7.1 Выбирает необходимые параметры технологических процессов производства изделий микроэлектроники

Знать: необходимые параметры технологических процессов производства изделий микроэлектроники.

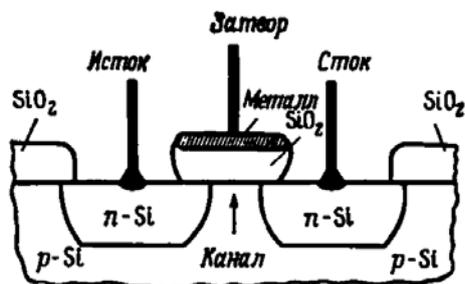
Уметь: выбирать необходимые параметры технологических процессов производства изделий микроэлектроники.

Владеть: навыками подбора необходимых параметров технологических процессов производства изделий микроэлектроники.

Перечень заданий для оценки сформированности компетенций

1. Закрытые задания (тестовые, средний уровень сложности).

1. На рисунке представлен

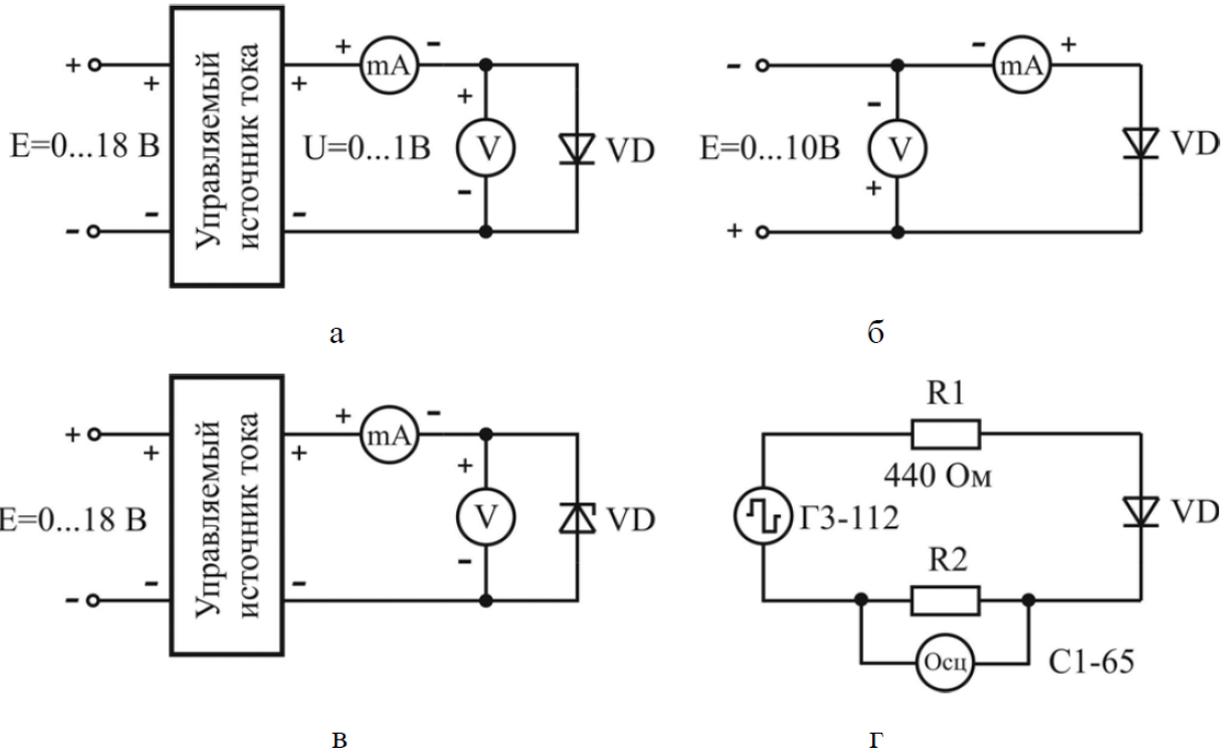


а) биполярный транзистор;

- б) полевой транзистор на МОП-структуре;
- в) светодиод;
- г) сплавный транзистор.

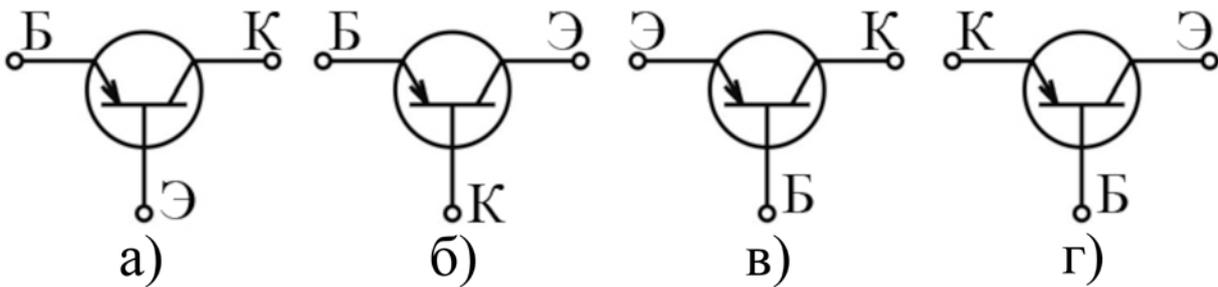
Правильный ответ: вариант б)

2. На каком рисунке изображена электрическая схема измерения обратной ветви ВАХ диода?



Правильный ответ: вариант б)

3. На каком рисунке представлено условное графическое обозначение биполярного транзистора со структурой р-п-р – типа?



Правильный ответ: вариант в)

2. Открытые задания (тестовые, повышенный уровень сложности).

1. Найдите сопротивление полупроводникового диода в прямом и обратном направлении тока, если при напряжении на диоде 0,5 В сила тока равна 5 мА, а при напряжении 10 В сила тока равна 0,1 мА.

(Ответ: 100 Ом и 100 кОм)

2. В усилителе, собранном на транзисторе по схеме с общей базой, сила тока в цепи эмиттера равна $I_{\text{Э}} = 12 \text{ мА}$, в цепи базы $I_{\text{Б}} = 600 \text{ мкА}$. Найти силу тока в цепи коллектора.

(Ответ: 11,4 мА)

3. Открытые задания (мини-кейсы, средний уровень сложности)

1. Транзистор типа n-p-n включен по схеме с общей базой (ОБ). Напряжение эмиттер-база $U_{ЭБ} = -0,5$ В, напряжение коллектор-база $U_{КБ} = 12$ В. Определить напряжение коллектор-эмиттер.

(Ответ: 12,5 В)

2. Транзистор типа p-n-p включен по схеме с общим эмиттером (ОЭ). Напряжение база-эмиттер $U_{БЭ} = -0,8$ В, напряжение коллектор-эмиттер $U_{КЭ} = -10$ В. Определить напряжение коллектор-база.

(Ответ: -9,2 В)

Комментарий: поскольку мини-кейсы предполагают свободные ответы обучающихся, допускаются иные (верные), помимо указанных ниже, формулировки ответа и фактологические данные.

Критерии и шкалы оценивания заданий ФОС:

Для оценивания выполнения заданий используется балльная шкала:

1) закрытые задания (тестовые, средний уровень сложности):

- 1 балл – указан верный ответ;
- 0 баллов – указан неверный ответ (полностью или частично неверный)

2) открытые задания (тестовые, повышенный уровень сложности).

- 2 балла – указан верный ответ,
- 0 баллов – указан неверный ответ (полностью или частично неверный)

3) открытые задания (мини-кейсы средний уровень сложности):

- 5 баллов – задание выполнено верно (получен правильный ответ, обоснован (аргументирован) ход выполнения (при необходимости));
- 2 балла – выполнение задания содержит незначительные ошибки, но приведен правильный ход рассуждений, или получен верный ответ, но отсутствует обоснование хода его выполнения (если оно было необходимым), или задание выполнено неполностью, но получены промежуточные (частичные) результаты, отражающие правильность хода выполнения задания, или в случае, если задание состоит из нескольких подзаданий, верно выполнено 50% таких подзаданий;
- 0 баллов – задание не выполнено или выполнено неверно (получен неправильный ответ, ход выполнения ошибочен или содержит грубые ошибки).

При проведении тестирования используется следующая шкала оценки освоения компетенций (% от набранных баллов, в соответствии со шкалой оценивания, приведенной выше):

Задания раздела 20.3 рекомендуются к использованию при проведении диагностических работ с целью оценки остаточных результатов освоения данной дисциплины (знаний, умений, навыков).

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЙ

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Направление: 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника
шифр и наименование направления/специальности

Дисциплина: Б1.В.ДВ.01.02 Практикум по физике полупроводников
код и наименование дисциплины

Профиль подготовки: Интегральная электроника и нанoeлектроника
в соответствии с Учебным планом

Форма обучения: очная

Учебный год: 2025-2026

Ответственный исполнитель -

<u>Зав.кафедрой ФТТиНС</u> должность, подразделение	_____	<u>(П.В. Середин)</u> расшифровка подписи	31.08.2023
--	-------	--	------------

Исполнители:

<u>Доцент каф. ФТТиНС</u> должность, подразделение	_____	<u>(Д.Н. Нестеров)</u> расшифровка подписи	31.08.2023
---	-------	---	------------

_____	_____	_____	___ 20__
-------	-------	-------	----------

_____	_____	_____	_____
-------	-------	-------	-------

СОГЛАСОВАНО:

Куратор ООП ВО направления 11.04.04	_____	<u>(Г.В. Быкадорова)</u> расшифровка подписи	31.08.20123
--	-------	---	-------------

Зав.отделом обслуживания ЗНБ	_____	<u>(Н.В. Белодедова)</u> расшифровка подписи	31.08.20123
---------------------------------	-------	---	-------------

Рекомендована НМС физического факультета, протокол №5 от 25.05.2023
(наименование факультета, структурного подразделения)